

Tema 10. A TERRA, ESTRUCTURA E COMPOSICIÓN. MÉTODOS DE ESTUDO

A Terra orixinouse fai uns 5000 millóns de anos por mor da colisión de cometas e asteroides ata a formación de protoplanetas máis grandes. Canto máis grandes eran estes corpos máis atraían outros asteroides circundantes. Debido ás colisións, a enerxía cinética transformouse en enerxía térmica aumentando así a súa temperatura. Cando esta masa fundiuse, tomou forma esférica e os distintos materiais foron organizáronse por densidade (**Diferenciación xeoquímica**)= os materiais máis densos concentráronse nas capas máis profundas e os máis lixeiros nas capas máis superficiais.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA TERRA

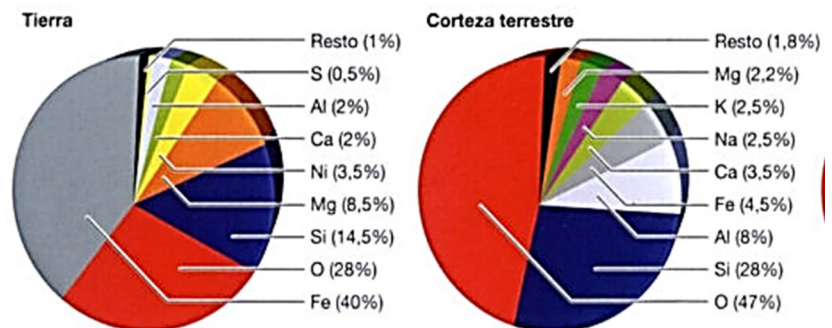
- o Masa total (M)= $5,97 \times 10^{24}$ Kg
- o Volume (V)= $1,08 \times 10^{12}$ km³
- o Densidade media (d=M/V)= 5,517 g/cm³
- o Radio ecuatorial (Re)= 6378 km
- o Radio polar (Rp)= 6356 km
- o Radio medio (Rm)= 6371 km
- o Tª media (T)= 15°C

COMPOSICIÓN QUÍMICA DA TERRA:

- Según a súa % na **MASA TOTAL DA TERRA** son:
 - o Ferro: 40%
 - o Osíxeno: 28%
 - o Silicio: 14,5%
 - o Magnesio: 8,5%

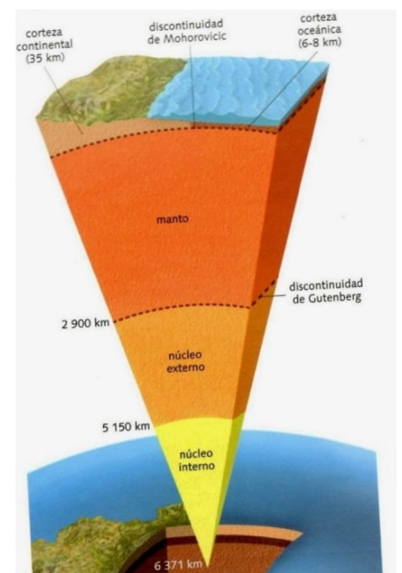
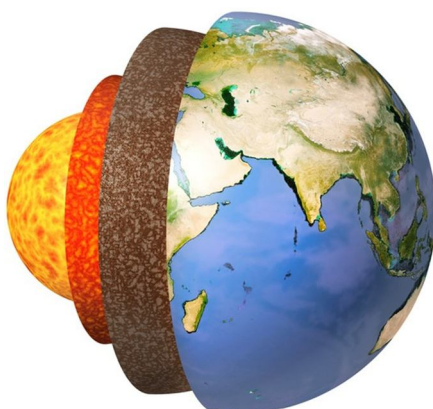
O Fe representa + de 1/3 da masa total da Terra debido a súa presenza masiva no núcleo terrestre e tamén a súa abundancia no manto. A abundancia do O e do Si está relacionada coa presenza dos silicatos (SiO₂) minerais maioritarios no planeta.

- Según a súa % na **MASA TOTAL DA CODIA** vemos que hai diferenzas, sendo o O (47%) e o Si (28%) e o Al (8%) os elementos maioritarios.



ESTRUTURA INTERNA DA TERRA: MODELO XEOQUÍMICO:

O modelo xeoquímico divide a Terra en **capas** segundo a súa composición. As distintas capas están separadas por **descontinuidades**.



CODIA: é a capa máis externa, máis heteroxénea e menos densa. Distínguense 2 tipos de codia:

- o **Codia continental:** comprende os continentes e a parte somerxida deles, é dicir, a plataforma continental e o noiro (talud). Non está estratificada, unicamente detectase un aumento do grado do metamorfismo coa profundidade.

Ten un espesor entre 25km e 75Km (de media 30 km); é grosa debaixo das cadeas montañosas e máis fina en zonas de pouco relevo. Con rochas ricas en sílice, está formada por unha mestura de rochas sedimentarias, ígneas e metamórficas, pero predominando unha **composición granítica**.

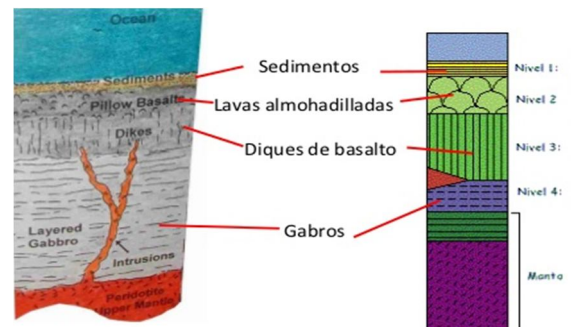
Nesta codia atópanse as rochas máis antigas do planeta, rochas de máis de 3800 ma

- o **Codia oceánica:** atópase debaixo dos océanos. A maior parte das rochas desta codia fórmanse nas dorsais oceánicas.

Está formada por materiais novos, os fragmentos máis antigos teñen como máximo 180 ma. O seu espesor varía entre os 6 km e os 12 km. É máis densa e homoxénea que a codia continental. É pobre en sílice (SiO_2), e máis rica en Fe e Mg que a continental.

Ten unha estrutura en capas:

- Nivel 1=Sedimentos (espesor medio 1300 m)
- Nivel 2=Lavas en almofada
- Nivel 3=Columnas ou diques de basalto
- Nivel 4=Gabros

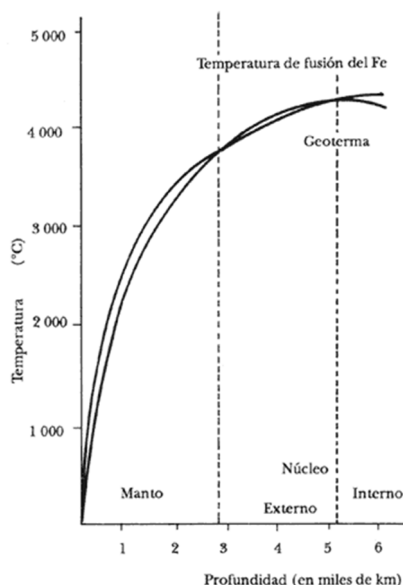


MANTO: vai dende a descontinuidade de Mohorovicic ata a descontinuidade de Gutenberg que está situada a uns 2900km de profundidade. Representa o 85% do volume do planeta.

A súa composición media é de **peridotita** (rocha ultrabásica de densidade igual a do manto superior e que aflora nalgúns puntos –ofiolitas–), con predominio dos minerais olivino e piroxenos (silicatos de Fe e Mg).

O manto podería presentar unha estrutura en capas:

- o **Manto superior:** ríxido e máis lixeiro que o resto do manto, chegaría ata uns 670 km de profundidade e está separado do manto inferior por unha zona de transición.
- o **Manto inferior:** máis denso e máis ríxido que o manto superior probablemente debido o empaquetamento dos minerais debido o aumento da presión.
- o **Zona "D":** capa fundida duns 200 km de espesor formada polo límite inferior do Manto en contacto con núcleo externo



NÚCLEO: dende os 2900km ata o interior da Terra (6371km). A

existencia do campo magnético terrestre só pode explicarse coa existencia dun elemento metálico no núcleo e o Fe é o único metal suficientemente abundante. É moi denso, e ten unha composición maioritaria de Fe (>90 %), tamén Ni, S e O. A composición química dos sideritos (tipo de meteoritos) confirma esta hipótese. Está estruturado en 2 capas:

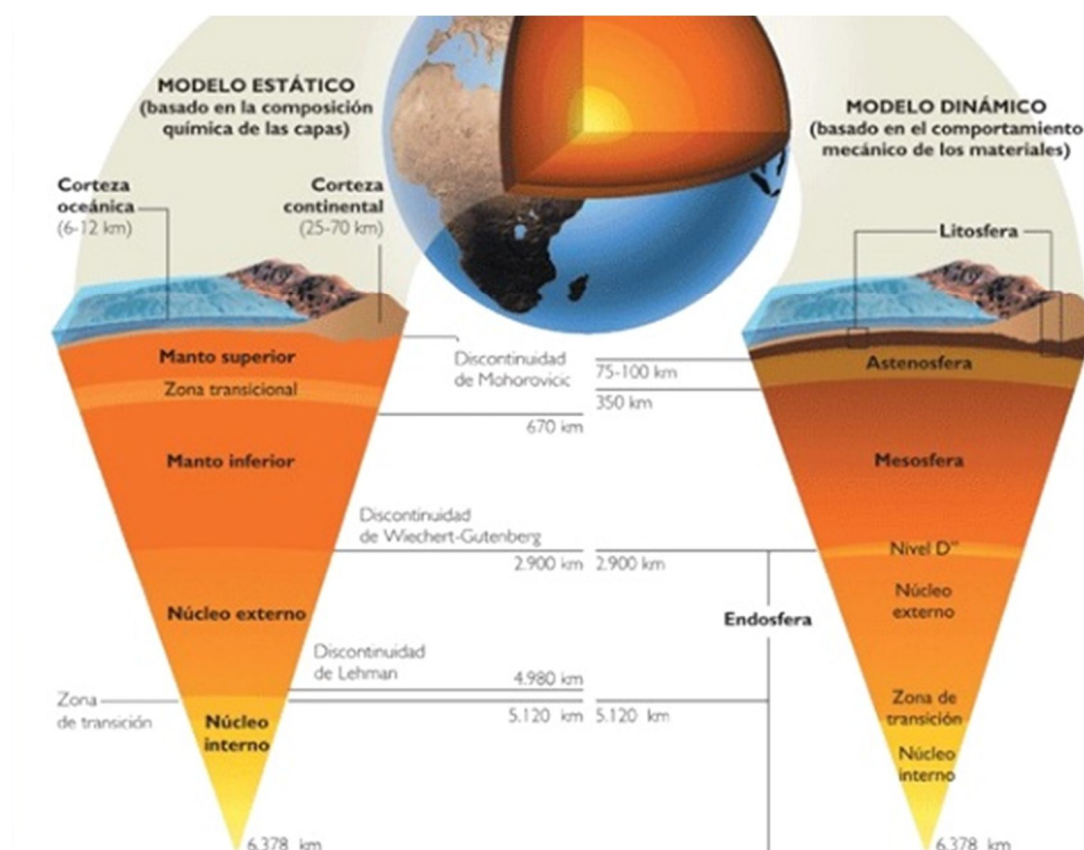
Núcleo externo: entre os 2900km e os 5100 Km. Está en estado líquido. Os movementos convectivos nel xeran o campo magnético terrestre.

Núcleo interno: dende os 5100km ata os 6374 km. Está en estado sólido debido á presión á que está sometido (esta alta presión eleva o punto de fusión dos materiais do núcleo interno manténdoo en estado sólido)

CAPA	divisións	ESPESOR	COMPOSICIÓN	DENSIDADE	IDADE	NATUREZA	Tª
CODIA 2% do V 1% da M	CONTINENTAL	entre 25 / 80 km	todo tipo de rochas Composición media similar o granito	2,7 g/cm³	Máximo 3800 ma	sólida	500°C na base
	OCEÁNICA	entre 3 / 10 km	Nivel 1: sedimentos Nivel 2: lavas basálticas Nivel 3: diques basálticos Nivel 4: gabro	3,0 g/cm³	Máximo 180 ma	sólida	
Descontinuidade de MOHOROVICIC							
MANTO 80% do V 68% da M	SUPERIOR	670 km	Peridotita	Entre 3,4 e 5,6 g/cm³	A do planeta	sólida	2000- 2500 °C
	INFERIOR	ata os 2900 km				sólida	2600- 3300°C
	CAPA"D"	entre 2700 e 2900 km				fundida	
Descontinuidade de GUTENBERG							
NÚCLEO 16% do V 31% da M	EXTERNO	ata os 5100 km	Fe/Ni + S+O	13 g/cm³	A do planeta	fundida	4000- 6000°C
	Descontinuidade de WIECHERT-LEHMAN						
	INTERNO	ata os 6350 km	Fe/Ni + S+O	13 g/cm³	A do planeta	Sólido	6600 °C

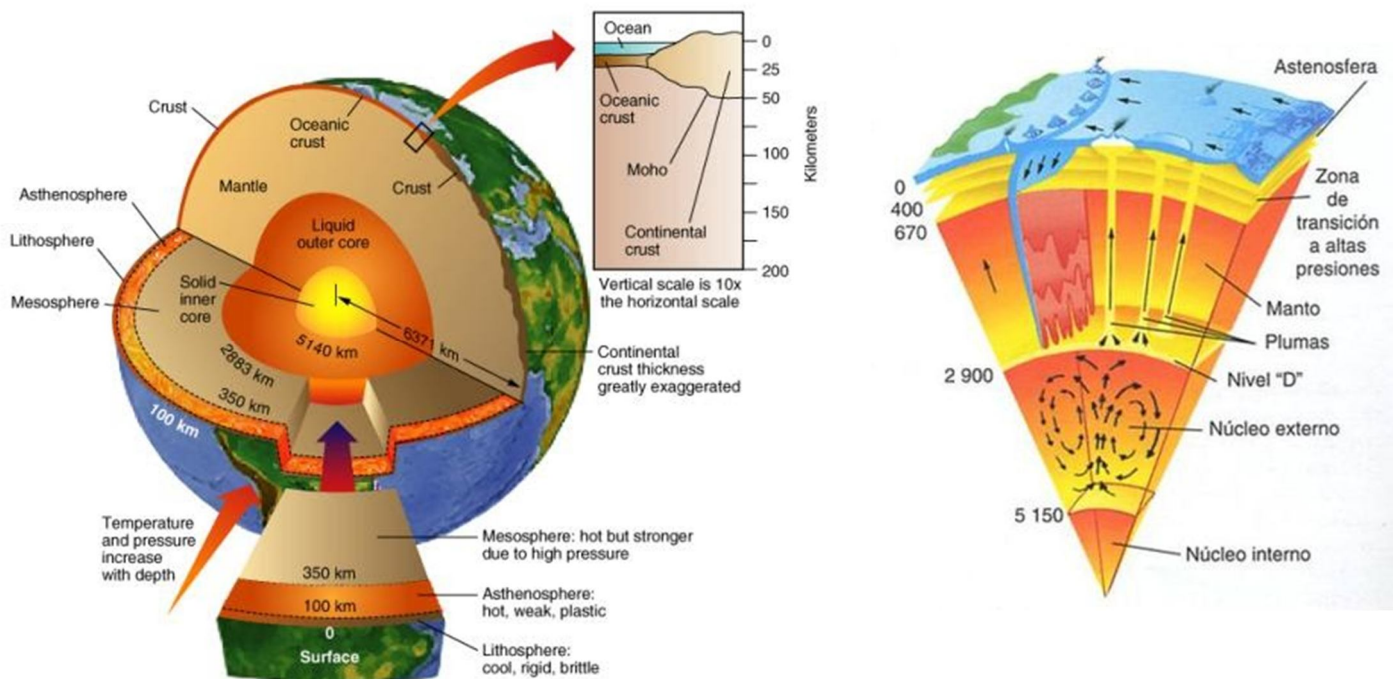
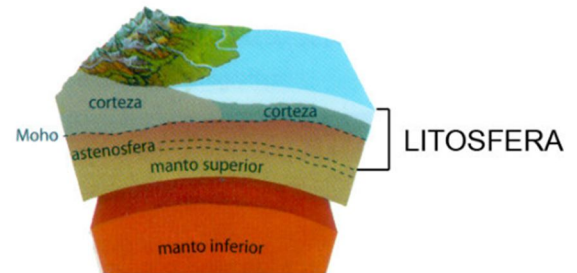
MODELO DINÁMICO DA TERRA:

Este modelo establécese en función do comportamento mecánico dos materiais da Terra, como rixidez, capacidade de fluír, temperatura e a súa relación coa dinámica interna do planeta (Tectónica de Placas). Os datos obtidos con **tomografía sísmica** (interpretación de miles de datos sísmicos que permite debuxar o interior da Terra en 3 dimensións, determinando a densidade, a presión e a temperatura en cada punto), dan unha disposición en capas pero que non coinciden coas que se establecen con criterios composicionais.



Segundo este modelo pódense definir 5 capas na Terra:

- **LITOSFERA:** capa máis superficial situada entre 0 e 100 km de profundidade. Comprende, polo tanto, toda a codia e parte do manto superior. Responde aos esforzos rompéndose en fragmentos denominados placas, que se comportan de maneira ríxida movéndose a diferentes velocidades
- **ASTENOSFERA:** comprende o resto do manto superior. Non é unha capa líquida, senón sólida, pero nesta capa prodúcese a fusión dun pequeno porcentaxe de rochas, o que implica que se comporta de maneira plástica. As súas rochas teñen capacidade de fluír lentamente, aínda que non é unha capa líquida. Recentes estudos apuntan a que **esta capa non é continua** e soamente existe en determinadas zonas con alto vulcanismo ou gran actividade tectónica.
- **MESOSFERA:** ocupa o resto do manto ata a descontinuidade e Gutenberg.
- **CAPA D** ou límite manto- núcleo: separa o manto inferior do núcleo. Entre os 2700 km e os 2900 Km. É unha zona descontinua con rochas parcialmente fundidas, que podería estar formada por materiais do manto mesturados con rochas do núcleo. É a zona onde se orixinan as plumas do manto, de materiais quentes e máis lixeiros que forman penachos ascendendo ata a base da litosfera, onde a diminución da presión provocaría a súa fusión e a formación dos puntos quentes na superficie terrestre.
- **ENDOSFERA:** engloba o núcleo externo e o núcleo interno. O núcleo externo ten unha velocidade de xiro de varios Km ao ano, un millón de veces máis rápido que o núcleo interno, o que podería inducir o campo magnético terrestre. No núcleo externo, líquido, prodúcese correntes de convección.



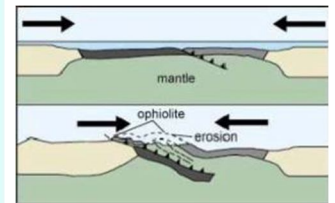
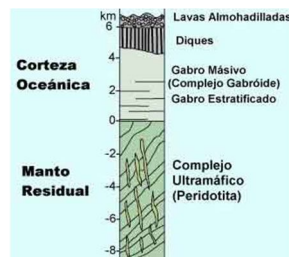
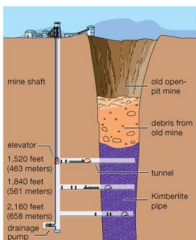
MÉTODOS DE ESTUDO DO INTERIOR TERRESTRE:

Existen 2 tipos de métodos de estudo da Terra:

- M. de **estudo directo**: minas, sondaxes, material volcánico...
- M. de **estudo indirecto**: estudo da gravidade, do campo magnético, dos meteoritos, da temperatura interior do planeta, m. sísmico... A maior parte do coñecemento do interior da Terra adquirese grazas á observación indirecta, xa que non podemos acceder a partes profundas da Terra.

MÉTODOS DE ESTUDO DIRECTO do interior terrestre :

- o **Estudo do material extraído das minas**: proporcionan moi pouca información xa que soamente se consegue analizar materiais de ata uns 5 km de profundidade. Un exemplo especial é o estudo das minas de Kimberlitas que conteñen diamantes, xa que estes se forman en condicións de moita presión a profundidades entre 150 e 400 km polo que o seu estudo danos información sobre capas do manto
- o **Sondaxes**: son métodos moi custosos que soamente conseguiron perforar 12,3 km nunha zona continental (Kola en Rusia, 1970). Outra sondaxe famosa foi nunha zona de codia oceánica na que soamente conseguiron acadar o manto superior (8 Km)(proxecto Mohole.)
- o **Estudo dos materiais procedentes de zonas profundas que afloran á superficie**: por exemplo materiais expulsados polos volcáns, estudo de complexos ofiolíticos (Ex: Cabo Ortegal)
- o Estudo dos produtos emitidos polos **volcáns**



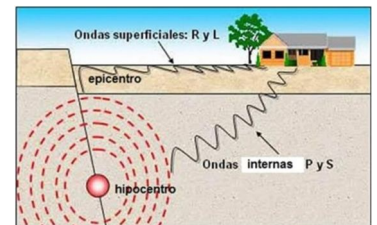
MÉTODOS DE ESTUDO INDIRECTOS:

Están baseados na realización de medicións dalgunhas propiedades físicas do planeta ou no estudo de rochas que podan compararse coas que constitúen o interior terrestre. É dicir, obtención de datos para posteriormente analízalos e deducir a estrutura do interior terrestre e as súas características.

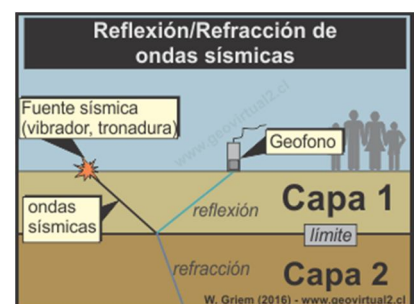
Os principais métodos indirectos son:

- o **Método sísmico**: usado a partir de seismos ou explosións.

Cando as rochas sometidas a tensións se rompen libran gran cantidade de enerxía que se propaga polo interior e pola superficie da Terra en forma de ondas sísmicas transmitíndose en todas direccións cun movemento ondulatorio. Os terremotos rexístranse con **sismógrafos**, aparellos que forman uns gráficos chamados **sismogramas**

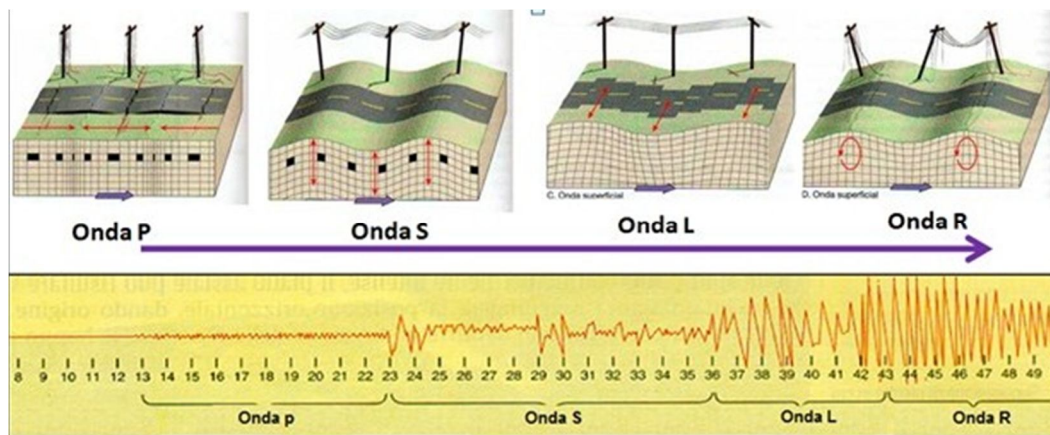


A velocidade e comportamento das ondas sísmicas dependen das características do medio atravesado, modificando a súa traxectoria (por reflexión ou por refracción) no límite entre dous medios de propiedades diferentes. O método sísmico consiste en analizar as traxectorias e as velocidades das ondas sísmicas.



Tipos de ondas sísmicas:

- **Ondas P, primarias ou lonxitudinais:** son ondas capaces de atravesar sólidos e líquidos (pero diminúen a súa velocidade ao pasar polos líquidos). Son as que presentan maior velocidade, polo que son as primeiras en chegar aos sismógrafos. Son ondas compresivas-distensivas, é dicir, comprimen e expanden os materiais polos que pasan na mesma dirección de propagación da onda.
- **Ondas S, secundarias ou transversais:** son máis lentas que as ondas P, e soamente se poden transmitir por sólidos. O paso deste tipo de onda polas rochas produce un movemento vertical, cara arriba e abaixo, das partículas polas que pasa, perpendiculares á dirección de propagación da onda.
- **Ondas superficiais, ondas L/R:** non se utilizan para o estudo do interior terrestre xa que se transmiten exclusivamente pola superficie. Son as máis destrutivas e máis lentas. Hai varios tipos de ondas superficiais dependendo do tipo de movemento que provoquen nas rochas (ondas Rayleigh con movemento similar ás ondas do mar e ondas Love con movementos na horizontal como o movemento dunha serpe)



Ecuacións da velocidade ondas sísmicas: en ambos casos a densidade dos materiais está no denominador e a rixidez no numerador = **a velocidade das ondas é directamente proporcional a rixidez dos materiais atravesados e inversamente proporcional a densidade dos mesmos**

Cando unha onda sísmica se propaga e cambia o tipo de rocha pola que pasa, **varía a súa dirección de propagación e/ou a súa velocidade**, xa que a propagación das ondas sísmicas depende de factores como densidade e a rixidez da rocha, da súa natureza, etc de maneira que para interpretar unha gráfica de ondas sísmicas hai que ter en conta que:

- Canto **máis densa sexa a rocha atravesada, menor será a velocidade** coa que as ondas sísmicas a atravesan, pois fai falla moita enerxía para facer vibrar os átomos moi pesados.
- A velocidade de propagación das ondas **é maior canto máis ríxido** é o medio polo que pasa, xa que as partículas que compoñen as rochas posúen posicións moi fixas e recuperan esta posición trala vibración sen absorber enerxía.
- As ondas S non se transmiten por líquidos, xa que a rixidez dos líquidos é =0
- As ondas S son máis lentas que as ondas P.

Velocidad de propagación de las ondas sísmicas:

- Velocidad de las ondas "p":

$$V_p = \sqrt{\frac{K + 4\mu/3}{\delta}}$$

- Velocidad de las ondas "s":

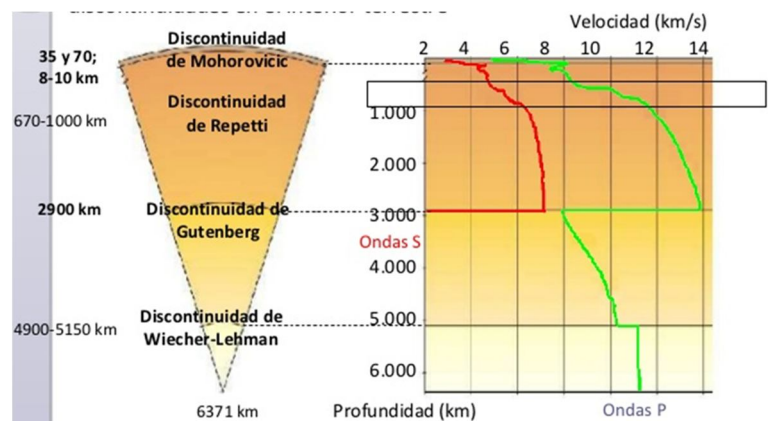
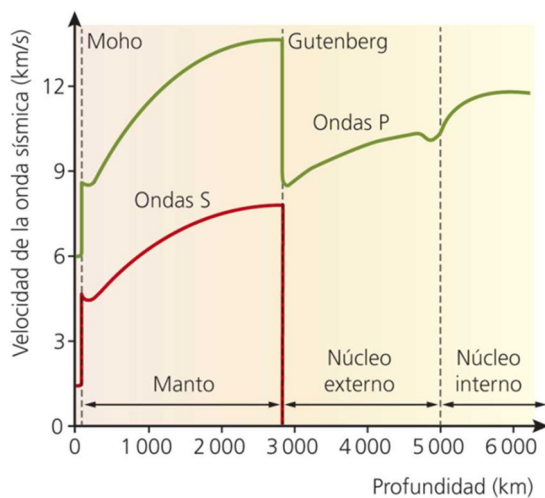
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\delta}}$$

K = módulo de compresibilidad
 δ = densidad
 μ = rigidez

Descontinuidades: as **variacións de velocidade e/ou dirección** das ondas P e S definen as diferentes descontinuidades, que son as **zonas de tránsito entre unhas capas e outras do interior terrestre**, causadas por cambios de composición, ou por cambios no comportamento físico das rochas (estado sólido ou líquido, elasticidade...). Esas descontinuidades nos definen as diferentes capas nas que se divide o planeta. As **descontinuidades** son:

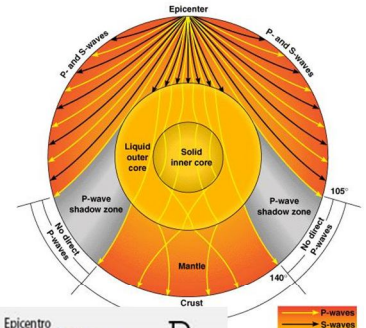
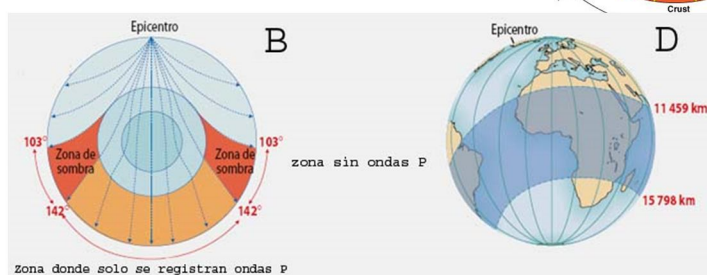
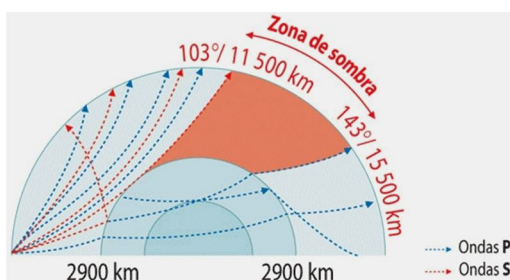
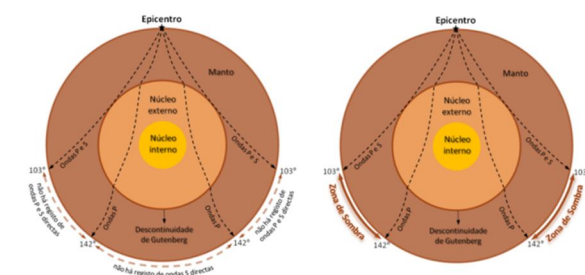
1. Descontinuidade de Moho entre codia e manto: 9-12Km en zona oceánica e ata 80 km en zona continental. Media de 30 Km.
2. Descontinuidade de Gutenberg entre manto e núcleo: 2900Km
3. Descontinuidade de Wiechert-Lehman entre o núcleo externo e o núcleo interno: 5100 km

Nalgunhas zonas debaixo da codia aparece nas gráficas unha zona de baixa velocidade das ondas sísmicas (Canle de baixa velocidade) que se corresponde coa astenosfera parcialmente fundida



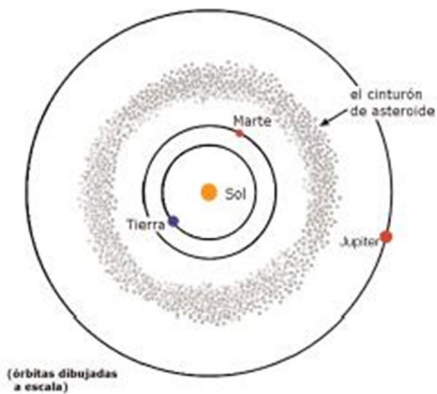
Deducción da natureza fundida do núcleo externo a partir do estudo das ondas sísmicas:

- o **zona de sombra sísmica:** entre os 105° e os 140° dende o foco do terremoto non se captan ondas sísmicas P ni S = a unha profundidade duns 2900 km existe unha descontinuidade nos materiais terrestres que refracta as ondas P e por iso estas non chegaban a rexistrarse nesta zona de sombra. Esta descontinuidade é a descontinuidade de Gutenberg entre o manto e o núcleo externo.
- o A partir dos 140° se detectan as ondas P pero NON as ondas S = esa descontinuidade separa un medio sólido dun medio líquido = Gutenberg separa o manto sólido do núcleo externo líquido



MÉTODO ASTRONÓMICO

Analiza a composición dos **meteoritos** que caen na superficie terrestre. Este método baséase na hipótese de que a maioría dos meteoritos que chegan a Terra proceden do cinturón de asteroides situado entre Xúpiter e Marte. Estes asteroides son **fragmentos dun protoplaneta similar á Terra** que disgregouse en anacos sen chegar nunca a formarse como planeta debido a atracción gravitatoria de Xúpiter e Marte. Do análise destes meteoritos podemos deducir como serían as distintas capas dese protoplaneta e de ahí inferir a composición do noso..



Existen 3 tipos de meteoritos que se corresponderían con 3 capas dese planeta en formación:

- o **Acondritas:** meteoritos de composición similar á nosa codia.
- o **Condritas:** de composición similar ao noso manto (86% de peridotita)
- o **Sideritos:** similares ao noso núcleo, moi densos, formados por unha aleación de Fe e Ni.

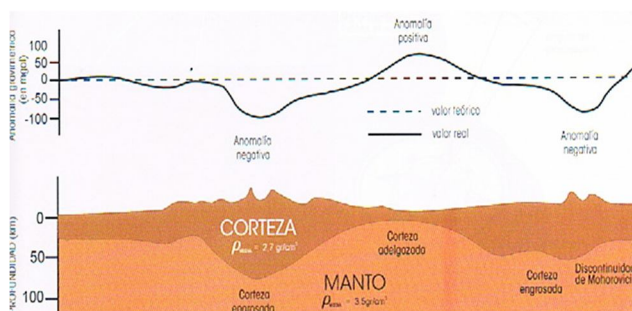
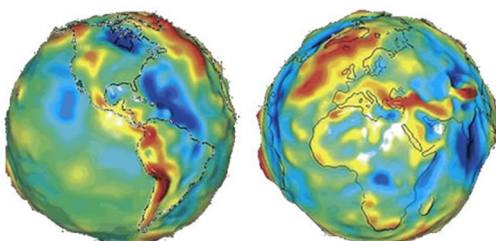
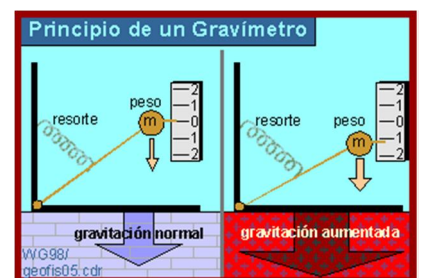
MÉTODO GRAVIMÉTRICO:

Baseado no estudo do campo gravitatorio terrestre e as súas anomalías. As variacións da gravidade entre os datos teóricos ($9,8 \text{ m/s}^2$) e os datos reais observados ao medir a gravidade na superficie terrestre chámanse **anomalías gravimétricas**, e son explicadas así:

- **Anomalía positiva:** o valor da gravidade medido é maior que o valor medio teórico. Indica a existencia na zona da medición de rochas máis densas que a media.
- **Anomalía negativa:** o valor da gravidade medido é menor do teórico. Indica a existencia de rochas menos densas que o esperado debaixo dese punto da superficie terrestre.

Así, a súa utilidade máis importante foi a determinación de zonas da Terra, por exemplo para o estudo da codia terrestre:

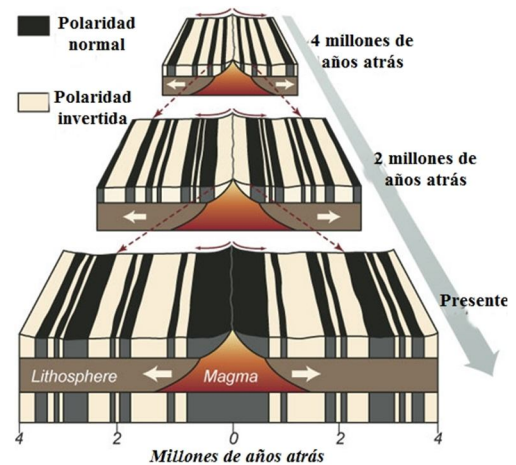
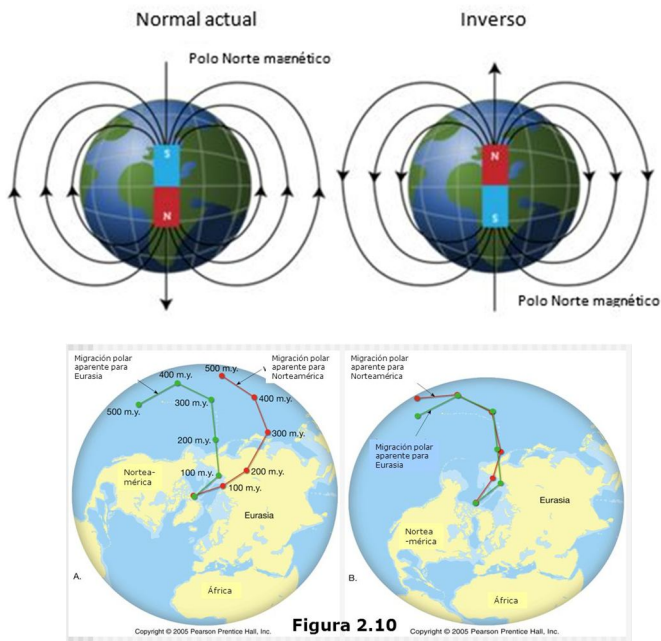
- ✓ Hai zonas onde a codia, que é menos densa, está engrosada (anomalía negativa), como sucede debaixo das cadeas montañosas. As cadeas montañosas teñen raíces que se adentran en niveis profundos e ocupan o lugar das rochas máis densas do manto.
- ✓ Zonas onde a codia é máis fina, e o manto (máis denso) está máis próximo á superficie terrestre, como nas zonas oceánicas, orixinando unha anomalía positiva.



MÉTODOS MAGNÉTICOS:

Baséanse no estudo do campo magnético terrestre, que indica a presenza no interior da Terra de materiais metálicos en dous estados físicos distintos: sólido e líquido. É dicir, a existencia dun núcleo externo fundido que xira ao redor dun núcleo interno sólido que orixinaría o campo magnético terrestre.

O análise dos rexistros do campo magnético ao longo do tempo (paleomagnetismo) danos información sobre as **inversións dos polos magnéticos** ao longo da historia, sobre a **curva de deriva polar** o que axuda a comprender os movementos de continentes, a apertura de océanos, etc



ESTUDO DO FLUXO XEOTÉRMICO OU DA CALOR INTERNA TERRESTRE:

A calor interna que chega á superficie terrestre provén principalmente da calor do momento de formación da Terra (choque de planetesimais e fusión destes) e tamén da desintegración dos elementos radioactivos inestables que se atopan na Terra.

Orixínase un desprendemento de calor ou fluxo xeotérmico que ten como característica que non é constante: hai zonas máis quentes que outras e isto é un factor a estudar do que se obtén información sobre os materiais do interior terrestre, información da estrutura interna terrestre, etc.

